Über den Einfluß der ultravioletten Strahlen auf die Vegetation

von

Julius Stoklasa.

Unter Mitwirkung von **Emanuel Senft, Franz Straňák** und **W. Zdobnický.**

Aus der Chemisch-physiologischen Versuchsstation an der k. k. böhmischen technischen Hochschule in Prag.

(Mit 4 Tafeln.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 16. März 1911.)

Die Frage, wie die ultravioletten Strahlen die Pflanzenzelle, namentlich die chlorophyllhaltige Pflanzenzelle, beeinflussen, ist sicherlich von großer Bedeutung. Wir haben in der Arbeit »Photochemische Synthese der Kohlenhydrate aus Kohlensäureanhydrid und Wasserstoff in Anwesenheit von Kaliumhydroxyd, in Abwesenheit von Chlorophyll«[1] einen Beitrag zur Kenntnis des ganzen Assimilationsproblems geliefert. Die Resultate unserer Experimente geben uns Anhaltspunkte zum Entwurfe eines Bildes von der natürlichen Kohlensäureassimilation in der chlorophyllhaltigen Zelle.

Wir fanden nämlich, daß durch Einwirkung ultravioletter Strahlen auf Kohlensäure und Wasserstoff in statu nascendi bei Gegenwart von Kaliumhydroxyd eine Photosynthese vor sich ging und daß sich der gebildete Formaldehyd bei Vorhandensein von Kali zu

[1] Julius Stoklasa und W. Zdobnický, Diese Sitzungsberichte, Bd. CXIX, Abt. II b, 1910. — Dieselben, Biochemische Zeitschrift, 30. Bd., 6. Heft, 1911.

Zucker kondensiert. Diesen Vorgang können wir uns so vorstellen, daß sich Kaliumbicarbonat bildete, welches durch naszierenden Wasserstoff leicht reduziert wurde und dessen Reduktionsprodukt sofort in Zucker überging. Bei der Übertragung der von uns bei diesen Experimenten gewonnenen Resultate auf die biochemischen Prozesse in der Pflanzenzelle können wir uns den Vorgang der pflanzlichen Kohlenhydratsynthese unter Einwirkung der ultravioletten Strahlenenergie, als deren Endeffekt Zucker entsteht, folgendermaßen vorstellen:

Die Kohlensäure, welche in die Spaltöffnungen dringt, wird in den chlorophyllhaltigen Zellen von im Wasser gelöstem Kali und Natron absorbiert und durch fortwährend nachströmende Kohlensäure wird das Kali und Natron in Bicarbonate umgewandelt. Das Kaliumbicarbonat gelangt dann in das Protoplasma der assimilierenden Gewebselemente.

Die reine Kohlensäure wird also in der chlorophyllhaltigen Zelle durch den naszierenden Wasserstoff nicht reduziert. Die Reduktion findet durch das Kaliumbicarbonat, das in seiner Entstehung begriffen ist, in der Zelle statt. Bei Gegenwart von Kali kondensiert sich der Formaldehyd zu Kohlenhydraten. Es ist auch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß sich neben Formaldehyd auch peroxydartige Stoffe bilden, die leicht unter Sauerstoffabgabe zerfallen.

Daß überhaupt gebundene Kohlensäure, und zwar in Form von Bicarbonaten, für den Stoffwechsel in Betracht kommt, wissen wir schon aus alten Versuchen und dies wurde auch von Hassak,[1] Nathansohn[2] und Udo Angelstein[3] bestätigt, die verschiedene Pflanzen in Lösungen von Bicarbonaten beobachteten und dabei die Ausscheidung von Sauerstoff konstatieren konnten.

---

[1] Hassak, Unters. aus dem Botanischen Institut zu Tübingen. 1888, Bd. 2, p. 471.

[2] Nathansohn, Über die Bedingungen der Kohlensäureassimilation in natürlichen Gewässern. Ber. d. K. S. Ges. d. Wiss., 59, 1907.

[3] Udo Angelstein, Untersuchungen über die Assimilation submerser Wasserpflanzen. Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Breslau, 1910.

Kürzlich hat Molisch (Diese Berichte 18, Abt. I, 1909; 19, Abt. I, 1910) gezeigt, daß grüne Wasserpflanzen Mangan und Eisen in ihre Membranen, beziehungsweise auf denselben einlagern können, wobei die charakteristische Einlagerung von Manganoxyd nur im Lichte erfolgt und auch die Eisenablagerung durch das Licht verstärkt wird, beziehungsweise ebenso wie die von Mangan strenge vom Licht abhängig ist.

Es ist ja bekannt, daß die Wasserpflanzen die Kohlensäure aus den Bicarbonaten assimilieren. Uns ist es gelungen, durch exakte Experimente nachzuweisen, daß auch die Landpflanzen imstande sind, in kohlensäurefreier Atmosphäre Kaliumbicarbonat zu assimilieren und für den Aufbau neuer lebender Substanz mit Vorteil zu benützen.

Das nötige Kalium ist stets neben Phosphor in dem Chlorophyll vorhanden. Wir haben in unseren Chlorophyllpräparaten 0·43 bis 0·57% Kaliumoxyd gefunden.[1]

Von großem Interesse ist gewiß die von Lieben[2] gefundene Tatsache, daß schon ohne Einwirkung der ultravioletten Strahlen das Kaliumbicarbonat und Natriumbicarbonat, besonders wenn sie in Entstehung begriffen sind, d. h. wenn die Bedingungen zu ihrer Bildung gegeben sind, durch naszierenden Wasserstoff leicht zu ameisensaurem Salz reduziert werden. Magnesiumbicarbonat wird von dem naszierenden Wasserstoff überhaupt nicht reduziert. Daß Wasserstoff tatsächlich in der Pflanzenzelle entsteht, haben wir schon in mehreren Arbeiten[3] hervorgehoben.

Die Aufgabe des Chlorophylls bei der photosynthetischen Assimilation besteht nun in der Absorption der ultravioletten

[1] Julius Stoklasa, Beiträge zur Kenntnis der physiologischen Funktion des Kalis im Pflanzenorganismus. Zeitschrift für landw. Versuchswesen in Österreich. 1908.

[2] Ad. Lieben, Monatshefte für Chemie, 1895 und 1897.

[3] J. Stoklasa, Fermentation lactique et alcoolique dans les tissus des plantes. Enzymes qui provoquent cette fermentation. Vortrag, gehalten auf dem VI. Internationalen Chemikerkongreß in Rom. 1906. — Julius Stoklasa unter Mitwirkung von Adolf Ernest und Karl Chocenský, Über die glykolytischen Enzyme im Pflanzenorganismus. Hoppe-Seyler's Zeitschrift für physiol. Chemie, Bd. 50, Heft 4 und 5, 1907.

Strahlen. Das Chlorophyll müssen wir als einen Sensibilisator der Strahlenenergie in der Pflanzenzelle ansehen. In der chloropyllhaltigen Pflanzenzelle entsteht Formaldehyd nicht nur durch die Reduktion des Kohlendioxyds mittels Wasserstoffs, der unter Einwirkung der Atmungsenzyme gebildet wird, sondern Formaldehyd bildet sich auch aus Wasser und Kohlendioxyd, und zwar in der Weise, daß das Wasser wahrscheinlich zersetzt wird und der entstandene Wasserstoff die Kohlensäure zum Formaldehyd reduziert. Diese beiden Prozesse verlaufen natürlich parallel nebeneinander unter dem Einflusse der ultravioletten Strahlen.

Neben dieser wichtigen sensibilisatorischen Tätigkeit spielt das Chlorophyll sicherlich auch eine große Rolle bei den intermediären Phasen schnell vorschreitender chemischer Reaktionen. Um einen Einblick zu gewinnen, wie ultraviolette Strahlen auf die chlorophyllhaltige Zelle einwirken, haben wir unsere Versuche in nachstehender Weise angeordnet:

I. Versuch.

Zu dem ersten Versuche benutzten wir nachstehende Kulturpflanzen: Erbsen (*Pisum sativum*), Mais (*Zea mais*), Hafer (*Avena sativa*) und Gerste (*Hordeum distichum*).

Die gekeimten Samen, welche sich in ganz unversehrtem Zustande befanden, wurden in feuchten Sand gelegt und in eine Dunkelkammer bei 20° C. zur Entwicklung gebracht. Nach 10 Tagen wurden die sich entwickelnden vollkommen etiolierten Pflänzchen in drei Gruppen geteilt. Die erste Gruppe wurde in der Dunkelkammer gelassen, die zweite Gruppe dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt, die dritte Gruppe unter die Quecksilberquarzlampe von der »Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft Union« in einer Entfernung von 45 *cm* gestellt. Diese Lampe hatte 110 Volt und 4 Ampere und war mit einer Glasglocke versehen. Nach Pflüger[1] kann man annehmen, daß die Energie der ultravioletten Strahlen bei der Queck-

[1] Pflüger, Physikalische Zeitschrift, Leipzig 1904.

silberquarzlampe von gleicher Größe ist wie die der sichtbaren.

Von Zeit zu Zeit wurden die Farbenveränderungen, welche die Pflänzchen zeigten, kontrolliert. Es zeigte sich, daß die jungen Blätter der unter der Quecksilberquarzlampe stehenden Keimlinge schon nach 2 Stunden eine deutliche sattgrüne Färbung annahmen, wogegen die dem intensiven Sonnenlicht ausgesetzten noch immer etioliert, also gelb waren. Nach ungefähr 6 Stunden konnten wir konstatieren, daß die ultravioletten Strahlen keine weitere besondere Wirkung mehr auf das Ergrünen der Kulturen ausübten, denn die dem Sonnenlicht ausgesetzten Keimlinge hatten die von der Quecksilberquarzlampe belichteten eingeholt und hielten von nun an, was die Intensität des Ergrünens anbelangt, mit ihnen gleichen Schritt.

II. Versuch.

Den I. Versuch wollten wir nicht für maßgebend halten und haben daher diesen Versuch wiederholt, und zwar mit denselben Kulturen, die aber 3 Wochen lang in einer Dunkelkammer zur Entwicklung gebracht worden waren. Sie wurden wieder in drei Gruppen geteilt, von denen eine in einer Dunkelkammer belassen, die zweite unter die Quecksilberquarzlampe gestellt, die dritte auf dem Fenster dem diffusen Tageslicht ausgesetzt wurde. An diesem Versuchstag war nämlich der Himmel vollkommen bewölkt und die Sonne kam nur zeitweise zum Vorschein.

Bevor wir an die Belichtung der Pflanzen gingen, hatten wir die Intensität des am Fenster herrschenden diffusen Lichtes sowie des Quecksilberquarzlampenlichtes gemessen. Wir bedienten uns dazu der Wiesner'schen Lichtmessungsmethode,[1] benutzten sein Photometer und ein von ihm selbst hergestelltes 1 und 10 Ton. Die Intensität des diffusen Tageslichtes am Laboratoriumsfenster betrug 0·0270 in Bunsen-Roscoe-Einheiten ausgedrückt. Die Intensität des Lichtes der Quecksilber-

[1] Wiesner, Lichtgenuß der Pflanzen, 1907, p. 10, Die photometrischen Methoden zur Bestimmung des Lichtgenusses der Pflanzen.

quarzlampe, die mit einer Glasglocke umgeben war, betrug in einer Entfernung von 45 *cm* 0·0344 B. R. Die Intensität des Quecksilberquarzlampenlichtes ohne Schirm in der Entfernung von 5 *cm* betrug 10 B. R. Diese Lichtintensität ist nun eine ganz enorme, denn sie übersteigt fast um das Vierfache die Maxima der Lichtintensität, welche Wiesner in der Natur bei völlig klarer Sonne beobachten konnte.[1]

Der Unterschied der Intensitäten des diffusen Tageslichtes am Fenster und der mit der Glasglocke geschützten Quecksilberquarzlampe in der Entfernung von 45 *cm* (bei welcher wir arbeiteten) war nicht besonders groß. Die beiden Intensitäten verhielten sich wie 1 : 1·278.

Die Pflänzchen wurden unter die Quecksilberquarzlampe, welche mit einer Glasglocke geschützt war, in der Entfernung von 45 *cm* (vom Brenner bis zur Wurzel gemessen) aufgestellt und belichtet. Das Ergrünen der jungen Blätter ging diesmal auffallend langsamer vor sich, was wir uns dadurch erklären, daß durch das zu lange Etiolement die Lebensenergie der Pflanzen ungemein geschwächt war, so daß sie nicht so prompt reagieren konnten wie die, welche nur 10 Tage lang etioliert waren. Immerhin haben wir nach etwa 4 Stunden eine auffallende Farbenveränderung konstatieren können. Namentlich die jungen Keimlinge, welche in ihrer Entwicklung wegen späterer Keimung zurück waren (dies gilt namentlich von den Keimlingen *Pisum sativum* und *Zea mais*), zeichneten sich durch eine schöne sattgrüne Färbung aus.

Aus diesem Versuche geht deutlich hervor, daß durch das lange Etiolieren in der Dunkelkammer die Lebensenergie des Protoplasmas so stark beeinträchtigt wurde, daß die ultravioletten Strahlen nicht imstande waren, die Bildung des Chlorophylls sofort zu bewirken.

III. Versuch.

Um nun die Farbenunterschiede an den etiolierten Pflanzen bei Anwendung der künstlichen Belichtung im Vergleiche zu

[1] Wiesner, l. c. Mittagsintensitäten und Maxima, p. 51.

der natürlichen Belichtung besser studieren zu können, benutzten wir eine Pflanze, welche mit einer breiten Blattspreite versehen ist, die zugleich auch so fest ist, daß man sie in eine bestimmte Lage zu den auffallenden Lichtstrahlen stellen kann, ohne befürchten zu müssen, daß während des ganzen Experimentes irgendwelche namhafte Krümmungen derselben stattfinden. Als sehr zweckmäßig erschien uns hiefür die Zuckerrübe (*Beta vulgaris*). Es wurden am 19. Oktober 1910 15 Stück Rübenwurzeln aus dem Versuchsfeld genommen und in geräumige Vegetationsgefäße, die 35 *cm* hoch waren und 27 *cm* im Durchmesser hatten, eingesetzt, so daß auf ein Vegetationsgefäß eine Rübenwurzel entfiel. Die Vegetationsgefäße waren mit humosem Sandboden gefüllt, welchem alle wichtigen Pflanzennährstoffe zugesetzt waren. Sämtliche Blätter wurden sorgfältig abgeschnitten, alle Vegetationsgefäße in eine Dunkelkammer gebracht und daselbst 2 Monate belassen. Die neuen etiolierten Blätter entwickelten sich ungemein langsam, aber üppig und bildeten zur Zeit der Belichtung ganz stattliche Rosetten. Die längsten Blätter erreichten eine Länge von etwa 20 *cm*, wovon die Blattspreite ungefähr einem Drittel der Gesamtlänge entsprach. Die etiolierten Rübenpflanzen wurden in drei Gruppen geteilt und eine davon in der Dunkelkammer weiter belassen, die zweite dem diffusen Tageslicht ausgesetzt und die dritte wurde unter die Quecksilberquarzlampe, welche mit einer Glasglocke versehen war, gestellt und in einer Entfernung von 45 *cm* (vom Quarzbrenner bis zur Wurzel gemessen) belichtet.

Schon nach 1 Stunde konnte man bemerken, daß die unter der Quecksilberquarzlampe stehenden Blätter zusehends ergrünten. Nach 2 Stunden war ihre Farbe bereits sattgrün, während die dem diffusen Tageslicht ausgesetzten Blätter kaum ihre gelbe Farbe geändert hatten. Nun setzten wir die Dauer der Belichtung auf insgesamt 10 Stunden hindurch fort. Nach 14stündiger Nachtpause wurden sie am zweiten Tage nochmals $3^1/_2$ Stunden belichtet. Die Gesamtdauer der Belichtung mit der Quecksilberquarzlampe betrug also insgesamt $13^1/_2$ Stunden. Die zweite Gruppe wurde dem diffusen Tageslicht 2 aufeinander

folgende Tage zu je 7 Stunden, also insgesamt 14 Stunden ausgesetzt. Hierauf wurden die Pflanzen aller drei Gruppen nebeneinandergestellt und verglichen. Dabei zeigten sich, nicht nur, was Farben, sondern auch was die Morphologie der Blätter betraf, ganz gewaltige Unterschiede.

Auf den Taf. I und II sind die Rübenpflanzen in ihren Vegetationsgefäßen photographiert. Taf. I zeigt die etiolierten Kulturen, Taf. II die, welche der Einwirkung der ultravioletten Strahlen ausgesetzt waren. Auf Taf. III sind die Blätter in ihrer Naturfarbe aus allen drei Gruppen nebeneinander abgenommen.

Blatt *a)* stammt aus der Gruppe der Vegetationsgefäße, welche von ultravioletten Strahlen belichtet worden waren,

Blatt *b)* aus der Gruppe von Vegetationsgefäßen, die in der Dunkelkammer belassen wurden,

Blatt *c)* aus der Gruppe von Vegetationsgefäßen, die dem diffusen Tageslicht ausgesetzt gewesen waren.

Wenn wir die Rübenblätter der einzelnen Gruppen näher betrachten, können wir folgendes wahrnehmen:

1. Die Blätter der etiolierten Pflanzen waren ausgesprochen gelb, die Lamina am Rande stark nach einwärts gebogen und zeigten auf der Unterseite sehr stark hervortretende primäre Nerven. Die sekundären Nerven waren kaum sichtbar.

2. Die Blätter derjenigen Pflanzen, welche dem diffusen Tageslicht ausgesetzt wurden, waren grünlichgelb gefärbt, die Lamina fast vollkommen aufgerollt und auf der Unterseite zeigten sich deutlich hervortretende sekundäre Nerven.

3. Die von der Quecksilberquarzlampe belichteten Blätter waren intensiv smaragdgrün, die Lamina ganz ausgebreitet und am Rande stark gekraust. Die Unterseite zeigte sämtliche Nerven vollkommen ausgebildet und selbst die feinsten derselben traten mit großer Schärfe hervor. Die Blätter waren ungemein steif und ziemlich leicht brüchig. Als auffallend muß weiter bezeichnet werden, daß die künstlich belichteten Blätter, welche abgeschnitten und im Wasser

aufbewahrt wurden, selbst noch nach einer Woche ihr frisches Aussehen erhalten hatten, wogegen die etiolierten und die dem diffusen Tageslicht ausgesetzten bei dem gleichen Versuche schon nach drei Tagen ziemlich welk waren.

Wir haben es versucht, in den etiolierten und künstlich belichteten Pflanzen mit dem Grafe'schen Reagens[1] den Formaldehyd qualitativ nachzuweisen. Hierzu benutzten wir je 35 *g* zerriebene Blätter, welche wir mit Wasserdampf destillierten. Das erste Destillat (je 1 cm^3) diente zur Ausführung der Reaktion. Dieselbe fiel in beiden Fällen negativ aus, trotzdem wir bei einem schon im Sommer durchgeführten Versuche, zu welchem bloß zwei mittelgroße frische grüne Rübenblätter verwendet wurden, mit dem genannten Reagens eine deutliche Reaktion bekamen.

Die Bestimmung der gesamten wasserlöslichen Kohlenhydrate nach der Inversion der Lösung, die durch heiße Digestion der frischen Blätter gewonnen wurde, ergab nach der Allihn'schen Kupfermethode bei den etiolierten Blättern 1·072%, bei den von der Quecksilberquarzlampe belichteten 1·653%, auf Saccharose berechnet.

Wie wir bereits erwähnten, haben wir sämtliche Belichtungsversuche mit einer Quecksilberquarzlampe ausgeführt, welche mit einer schützenden Glaskugel versehen war. Es ist nämlich nach Angaben von Schanz und Stockhauser[2] festgestellt, daß gewöhnliches Lampen- und Brillenglas nur für Strahlen von einer kürzeren Wellenlänge als etwa $\lambda = 300\ \mu\mu$ undurchlässig ist, daß dagegen die chemisch wirksamen ultravioletten Strahlen, die eine Wellenlänge von $\lambda = 400$ bis $300\ \mu\mu$ haben, von gewöhnlichem Glase durchgelassen werden. Bei unseren Belichtungsversuchen sind also neben den sichtbaren grünen, blauen und violetten Strahlen auch noch ultraviolette

---

[1] Viktor Grafe, Über ein neues spezifisches Formaldehydreagens. Österr. botan. Zeitschr., 1906, Nr. 8.

[2] Schanz und Stockhausen, 79. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte; Elektrotechn. Anzeiger 1907, p. 876, und Hauptversammlung des Elektrotechnischen Vereins, 1908; Elektrotechn. Zeitschrift 1908, p. 777.

Strahlen von einer Wellenlänge $\lambda = 400$ bis $300\ \mu\mu$ zur Wirkung gekommen.

IV. Versuch.

Von großer Bedeutung sind die Belichtungsversuche, die wir ohne Glaskugel ausgeführt haben, bei welchen also die Strahlen direkt mit voller Intensität auf die Pflanzen einwirkten. Die etiolierten Pflanzenkeimlinge waren vom Brenner 30 bis 35 *cm* entfernt. Merkwürdigerweise stellte sich heraus, daß durch die direkte Einwirkung der ultravioletten Strahlen derselbe Effekt erzielt wurde wie bei dem vorigen Versuche, bei welchem die Lampe mit einer Glaskugel versehen war.

Die Energie der Bildung des Chlorophylls war also die gleiche bei den Belichtungen mit und ohne Glaskugel. Daraus kann man deduzieren, daß auf die Bildung des Chlorophylls in etiolierten Keimlingen Strahlen von einer kürzeren Wellenlänge als $\lambda = 300\ \mu\mu$ keinen Einfluß haben.

Wir haben volle 2 Stunden auf die Keimlinge von *Pisum sativum, Zea mais* und *Hordeum distichum* ultraviolette Strahlen direkt einwirken lassen und betonen hier nochmals, daß die Keimlinge vor dieser Belichtung etioliert waren. Nach dieser zweistündigen Expositionsdauer aber bekamen die Keimlinge ein frisches grünes Aussehen und von einer Zersetzung des Chlorophylls und Schwärzung der Blätter konnten wir nichts bemerken.

Maquenne und Demoussy publizierten vor zwei Jahren ihre Beobachtungsresultate über den Einfluß der ultravioletten Strahlen auf die Vegetation der grünen Pflanzen.[1] Ihre Versuche ergaben:

[1] Maquenne und Demoussy, Comptes rendus hebd. des séances de l'Académie des sciences 1909, t. 149, p. 756.

1. Die ultravioletten Strahlen führen in verhältnismäßig kurzer Zeit den Tod der Pflanzenzellen herbei; dies dauert ungefähr so lange wie die Sterilisierung einer infizierten Flüssigkeit. Ihre Wirkung erstreckt sich besonders auf die Oberfläche, tief in das Innere scheinen die Strahlen nicht dringen zu können.

2. Die Schwärzung der Blätter wie überhaupt die Färbungsveränderungen, welche man an den dem direkten Bogenlicht ausgesetzten Pflanzen beobachten kann, sind ausschließlich auf das Vorherrschen der ultravioletten Strahlen in diesem Lichte zurückzuführen. Sie sind die Folge des Absterbens des Protoplasmas und nicht, wie man bisher glaubte, die unmittelbare Wirkung der elektrischen Insolation.

Aus den vorstehenden Beobachtungen von Maquenne und Demoussy ergibt sich also, daß die ultravioletten Strahlen auf die Vegetation der grünen Pflanzen ungemein schädlich einwirken. Unsere Resultate sind mit den Ergebnissen dieser Forscher durchaus nicht unvereinbar, weil ja ihre Versuche mit ganz anderen Pflanzen angestellt wurden. Es ist ja bekannt, daß verschiedenartige Pflanzen in bezug auf die physiologischen Leistungen sich verschieden verhalten. Außerdem waren die Versuchsobjekte in einer kleineren Entfernung vom Brenner aufgestellt, und zwar 15 bis 20 *cm*, während unsere 30 bis 35 *cm* vom Brenner entfernt waren. Schließlich gaben diese Forscher selbst zu, daß nach einer zweistündigen Expositionsdauer noch keine sichtbare Veränderung des Parenchyms zu konstatieren war, sondern daß die Braunfärbung erst nach 3 bis 4 Stunden eintrat.

Behufs besserer Orientierung über die physiologische Leistung der ultravioletten Strahlen auf das Chlorophyll ließen wir die Strahlen auf die alkoholische Lösung von Chlorophyll einwirken. Die Chlorophyllösung wurde wie folgt bereitet:

Zuerst wurden frische reine Blätter von *Lathyrus odoratus* im Gewichte von zirka 3 *kg* möglichst vollständig mit absolutem Alkohol bei 50° C. extrahiert. Die Alkoholextrakte wurden unter Zusatz von destilliertem Wasser mit Äther geschüttelt. Die entstandene grüne ätherische Schichte wurde abgesaugt, im Vakuum bei 40 bis 50° C. abgedampft und

der Verdampfungsrückstand mittels Äther digeriert. Hierauf haben wir die Ätherlösung neuerdings abgedampft und den Verdampfungsrückstand in Alkohol aufgelöst. Dünne Eprouvetten, welche aus durchsichtigem Quarz hergestellt waren, wurden mit dieser Lösung gefüllt und diese dann der direkten Einwirkung der ultravioletten Strahlen ausgesetzt. Die Entfernung von dem Brenner der Quecksilberquarzlampe betrug 14 *cm*. Damit die Wärme keinen schädlichen Einfluß auf das Chlorophyll ausüben und der Alkohol nicht verdampfen kann, wurden die Eprouvetten auf der Rückseite fortwährend gekühlt. Die Expositionsdauer betrug 5 bis 60 Minuten.

Das Absorptionsspektrum war vor und nach der Exposition stets das gleiche, es konnte also durch spektroskopische Messungen keine Zersetzung des Rohchlorophylls wahrgenommen werden. Diese Versuche werden von uns nochmals mit einer ganz dünnen Schicht einer Chlorophyllösung wiederholt. P. A. Dangeard[1] hat vor kurzer Zeit über die Wirkung des Lichtes auf Chlorophyll Studien angestellt. Um die Wirkung der verschiedenen Lichtstrahlen auf das Chlorophyll zu ermitteln, stellte dieser Autor eine alkoholische Chlorophyllösung her und trug nach dem Behandeln der Lösung mit Kollodium eine dünne Schicht der Masse auf eine Glasplatte auf. Diese Schicht wurde nun der Wirkung eines sehr reinen Spektrums ausgesetzt, wobei sich das Chlorophyll infolge der längeren Einwirkung einzelner Strahlen an gewissen Stellen entfärbte, an anderen Stellen dagegen nicht. Es ließen sich so ganz genau die für Chlorophyll wirksamen und unwirksamen Strahlen ermitteln. Die Methode ist nach der Ansicht dieses Forschers auf andere lichtempfindliche Stoffe ausdehnbar.

Wir müssen Jost[2] zustimmen, daß es uns bei dem jetzigen Stande der Kenntnisse über die Wirkung der Strahlen verschiedener Wellenlänge auf das Chlorophyll trotz der großen

---

[1] P. A. Dangeard, L'action de la lumière sur la chlorophylle, Comptes rendus hebd. des séances de l'Académie des sciences, Tome 151, No. 26, Paris 1910.

[2] Ludwig Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, Verlag von Gustav Fischer, Jena 1908.

Literatur bisher nicht möglich ist, ein positives Urteil abzugeben, wie sich die stärker brechbaren sowie die schwächer brechbaren Strahlen eigentlich dabei verhalten.

Die Lösung der Frage bezüglich der formativen Wirkung der blau-ultravioletten sowie der roten und überhaupt der minder brechbaren Strahlen erfolgte bisher auf keine exakte Weise. Man unterließ es nämlich, zu berücksichtigen, daß eine längere einseitige Förderung einer Funktion durch bestimmte Strahlen die Pflanzen in einen pathologischen Zustand versetzen kann. Die Methoden, welche man bisher zu Versuchen über die Wirkung der Strahlen verschiedener Wellenlängen auf das Chlorophyll anwendete, und zwar die von Daubeny (1836), welcher mit farbigen Gläsern operierte, und auch die Senebier'schen Glocken eigneten sich nicht für das Studium der Mechanik des Stoff- und Gasaustausches.

Die Versuche, welche von zahlreichen Forschern, wie Hunt,[1] Sachs,[2] Ad. Mayer,[3] R. Weber,[4] Morgen,[5] Wollny,[6] Draper, Gloez und Gratiolet,[7] Strohmer und Stift,[8] Macagno,[9] C. Flammarion,[10] Murinoff,[11] Dumont[12] etc.

---

[1] Hunt, Bot. Ztg., 1851, p. 319.

[2] Sachs, Bot. Ztg. 1864, p. 371, und Arbeit des Botan. Instituts in Würzburg, 1871, Bd. I, p. 56.

[3] Ad. Mayer, Versuchsstat. 1867, Bd. 9, p. 396.

[4] R. Weber, Versuchsst., 1875, Bd. 18, p. 18.

[5] Morgen, Bot. Ztg., 1877, p. 579.

[6] Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, 1894, Bd. 17, p. 317.

[7] Draper, Cloez und Gratiolet, Pfeffer's Pflanzenphysiologie, I. Bd., 1897.

[8] F. Strohmer und A. Stift, Über den Einfluß der Lichtfarbe auf das Wachstum der Zuckerrübe, Österr.-Ungar. Zeitschrift für Zuckerindustrie und Landw., 1904, 33, 17.

[9] Macagno, Bot. Ztg., 1874, p. 544.

[10] C. Flammarion, Die Einwirkung gefärbten Lichtes auf Pflanzen, Bull. Mens. Off. Renseig. Agr. (Paris), 1907, 6, 1321; ref. nach Exper. Stat. Rec., 1908, 19, 727.

[11] A. Murinoff, Einfluß des Lichtes und der Feuchtigkeit auf die Zusammensetzung der Pflanze, Ber. d. deutsch. botan. Ges., 1907, 25, 507.

[12] J. Dumont, Die Lichtstrahlen und der Stickstoffgehalt des Weizens, Compt. rend., 1906, 143, 1179.

entweder mit färbigen Gläsern oder mit doppelwandigen Glasglocken, die mit Kaliumbichromat oder mit Kupferoxydammoniak gefüllt waren, angestellt wurden, lieferten sich derart widersprechende Ergebnisse, daß sie kein Urteil über die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf das Chlorophyll zuließen. Das gleiche war auch der Fall, als mit dem Reinkeschen[1] Spektrophor zu experimentieren versucht wurde. Einige Forscher vertraten da die Ansicht, daß die rote Hälfte eine viel größere Wirkung habe als die blaue, andere wieder, namentlich Timiriaseff,[2] äußerten sich dahin, daß die doppelte assimilatorische Wirkung der blauen Hälfte zuzuschreiben sei.

Daß, wie viele Forscher annehmen, die Assimilationskurve innerhalb der blauen Hälfte des Spektrums kontinuierlich sinkt, scheint meiner Meinung gemäß nicht auf Wahrheit zu beruhen.

Selbst Engelmann[3] hat schon im Jahre 1884 konstatiert, daß die Assimilationskurve ein zweites Maximum in der Nähe der Fraunhofer'schen Linie F erreicht.

Nach unseren Beobachtungen sind bei der Chlorophyllsynthese die Strahlen, welche eine Wellenlänge von $\lambda = 575$ bis 300 $\mu\mu$ aufweisen, am wirksamsten.[4]

Wir müssen annehmen, daß es sich in den Wachstumsreaktionen um primäre oder sekundäre chemische Prozesse handelt, welche durch stärker brechbare Lichtstrahlen veranlaßt werden. Das Leben der Pflanzenzelle ist nichts anderes als das äußerst komplizierte physikalisch-chemische Funktionieren des Protoplasmas.

---

[1] Reinke, Bot. Ztg., 1884, p. 1. — Über die Versuche Timiriaseff's vgl. Botan. Jahresber., 1875, p. 779; Annal. d. scienc. naturelles, 1885, sér. VII, Bd. 2, p. 99, und die Kritik bei Reinke, Ber. d. Botan. Ges., 1885, p. 337.

[2] Timiriaseff, Ann. sc. nat. (7), 1885, 2, 99—1903, Proc. R. Soc., Bd. 72, 424.

[3] Engelmann, Bot. Ztg., 42, 81, 1884. — Pflüger's Archiv, 57, 375, 1894.

[4] Nach Pflüger und Ladenburg (Physikalische Zeitschrift, 1904) enthält die Quecksilberquarzlampe Strahlen in einer Wellenlänge von $\lambda = 575$ bis 250 $\mu\mu$. Die Energie der beiden noch im sichtbaren Gebiete liegenden roten Linien bei 615 und 695 $\mu\mu$ ist zu gering, um mit der Thermosäule noch nachgewiesen werden zu können.

Daß die ultravioletten Strahlen auf die chlorophyllhaltigen Pflanzenorgane eine große formative Wirkung ausüben, ist auf Grund unserer Untersuchungen heute eine feste Tatsache.

Genau so, wie die ultravioletten Strahlen für die Bildung des Chlorophylls sowie für die photosynthetische Assimilation äußerst wichtig sind, kann diese Energiequelle infolge längerer Einwirkung eine gewaltige Zerstörung des Zellebens verursachen, was dann das Absterben des Protoplasmas zur Folge hat. Es ist ja bekannt, daß die hemmende und tödliche Wirkung, die das gemischte Licht auf die Bakterien ausübt, auf dem Gehalt an blau-ultravioletten Strahlen beruht.

In neuester Zeit haben Cernovodeanu und Victor Henri,[1] Maurain und Warcollier,[2] Henri, Helbronner und de Recklinghausen,[3] Th. Nogier[4] und Paul Becquerell[5] Versuche über die Einwirkung der ultravioletten Strahlen auf die Bakterien ausgeführt. Diese Experimente wurden zum großen Teil an pathogenen Bakterien vorgenommen, z. B. an *B. coli, typhi*, dem Pneumoniebazillus, dem Cholerabazillus, ferner dem Erreger des Starrkrampfes u. a. m.

Die keimtötende Wirkung der ultravioletten Strahlen nimmt nach diesen Autoren nicht proportional dem Quadrat

---

[1] Cernovodeanu und Viktor Henri, Étude de l'action des rayons ultraviolets sur les microbes. Comptes rendus hebd. des séances de l'Académie des sciences, 1910, I, No. 1. — Dieselben, Comparaison des actions photochimiques et abiotiques des rayons ultraviolets, Comptes rendus hebd. des séances de l'Académie des sciences, 1910, I, No. 9. — Dieselben, Action des rayons ultraviolets sur les microorganismes et sur différentes cellules. Étude microchimique, Comptes rendus hebd. des séances de l'Académie des sciences, 1910, I, No. 11, p. 729 bis 731.

[2] Maurain und Warcollier, Action des rayons ultraviolets sur le vin en fermentation, Comptes rendus hebd. des séances de l'Academie des sciences, 1910, I, No. 6.

[3] Henri, Helbronner und de Recklinghausen, Stérilisation de grandes quantités d'eau par les rayons ultraviolets, Comptes rendus hebd. des séances de l'Académie des sciences, I, 1910, 15.

[4] Th. Nogier, Action bactéricide des lampes en quartz à vapeur de Mercure, leur application à la sterilisation des eaux potables, Archives d'electricité méd. experim. et clinique, Bordeaux, 1910, No. 279.

[5] Paul Becquerell, Comptes rendus, Paris, 1910.

der Entfernung von der Lichtquelle ab, sondern rascher. Eine Quecksilberquarzlampe von 220 Volt wirkt bei geringen Entfernungen fünfmal stärker als eine solche von 110 Volt; bei großen Entfernungen ist der Unterschied noch stärker.

Die verschiedenen Bakterien sind von verschiedener Empfindlichkeit gegen ultraviolette Strahlen. Es ist weder die Widerstandsfähigkeit gegen Hitze, noch die Form, noch die Färbung, welche einen vorwiegenden Faktor bei dieser Verschiedenheit bilden. Am raschesten wird *Staphylococcus aureus* abgetötet mit 5 bis 10 Sekunden, am langsamsten der Tetanusbazillus mit 20 bis 60 Sekunden und *B. megatherium* mit 30 bis 60 Sekunden Belichtung. Es ergibt sich, daß von den ultravioletten Strahlen jene am wirksamsten sind, die eine Wellenlänge von weniger als 2800 Ångström'schen Einheiten besitzen.

Von großem Interesse ist die Frage, wie die ultravioletten Strahlen auf den *Azotobacter chroococcum* wirken, welcher in unseren Böden ungemein stark verbreitet ist und der bekanntlich die Potenz besitzt, den elementaren Stickstoff zu assimilieren.

Versuche über die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf Azotobacter chroococcum.

a) Die Wirkung der durch eine Glimmerplatte durchdringenden ultravioletten Strahlen.

Wir benutzten zu unseren Experimenten eine 0·15 *mm* starke durchsichtige Glimmerplatte. Glimmer läßt 80 bis 94 % Strahlen von einer Wellenlänge $\lambda = 425$ bis 350 $\mu\mu$ durch; es sind dies violette und ultraviolette Strahlen des Sonnenlichtes. Von den Strahlen, welche eine Wellenlänge von $\lambda = 350$ bis 240 $\mu\mu$ aufweisen (das sind zumeist Strahlen der Quecksilberquarzlampe), läßt Glimmer maximal 60 % durch. Von den Strahlen, welche eine Wellenlänge von $\lambda = 240$ bis 125 $\mu\mu$ besitzen, läßt Glimmer nur 10 bis 30 % durch. Strahlen in dieser Wellenlänge sind in dem Lichte der Quecksilberquarzlampe in geringeren Mengen vorhanden.[1]

---

[1] Nach Nichols beginnt im Ultraviolett Glimmer stark zu absorbieren bei 330 $\mu\mu$; nach Liveing und Dewar beginnt die Absorption bei 310 $\mu\mu$,

Die *Azotobacter*-Kulturen wurden auf Mannitagar in feuchten Kammern kultiviert. Letztere waren derart konstruiert, daß Glasringe mit einem Durchmesser von 20 *mm* und einer Höhe von 10 *mm* an die Objektträger mittels Wasserglases angekittet waren. Sobald das Wasserglas hart geworden war, wurde in die Kammern in einer Höhe von 9 *mm* das flüssig gewordene Mannitagar (1000 cm^3 Wasser, 20 *g* Agar, 20 *g* Mannit, 0·5 *g* K_2HPO_4) gegossen. Auf die Glasringe wurde eine 0·15 *mm* dünne Glimmerplatte gegeben und diese feuchten Kammern in eine Petrischale, auf deren Boden sich ein mit Sublimatlösung befeuchtetes Filtrierpapier befand, auf zwei Glasstäbchen gelegt. Hierauf wurden die zugedeckten Schalen zweimal im Autoklav bei einer Temperatur von 120° sterilisiert. Von diesen feuchten Kammern wurden 26 Stück hergestellt. Nach der Sterilisation wurden sofort die Versuche begonnen. Zunächst wurden die Mannitagarnährböden in den feuchten Kammern mit virulenten *Azotobacter*-Kulturen geimpft, sodann jede Kammer mit der Glimmerplatte so zugedeckt, daß die Platte mittels einer sterilisierten Vaseline an den oberen geschliffenen Rand der Kammer befestigt war. Zur Belichtung wurde wieder die Quecksilberquarzlampe von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft »Union«, die 110 Volt hatte, verwendet. Unter die Lampe, von welcher die Glaskugel entfernt worden war, wurde ein vertikal verschiebbarer Tisch gestellt, um die Entfernung der Kulturen von der Lichtquelle nach Belieben regulieren zu können. Es wurde zuerst bei einer 20 *cm* weiten Entfernung der Kulturen von dem Licht experimentiert. Da betrug die Temperatur 32° C. Die Expositionsdauer wurde mit einem Chronometer gemessen. Zwei Kulturen wurden immer innerhalb einer gleichen Zeit, und zwar 10, 20, 50, 80, 120, 150, 180, 240 und 300 Sekunden lang exponiert.

Als wir die Entfernung der Kulturen von dem Lichte auf 10 *cm* einstellten, betrug die Temperatur 48° C. Auch hier exponierten wir wieder stets zwei Kulturen auf 30, 50 und 80 Sekunden. Zwei Kulturen blieben unbelichtet und dienten

---

wird stark bei 295 $\mu\mu$ und vollständig bei 284 $\mu\mu$. (H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie, Leipzig, 1904.)

als Kontrollkulturen. Nach der Belichtung wurden alle Kulturen in den Brutschrank, woselbst eine Temperatur von 28° C. herrschte, gegeben. Schon den zweiten Tag nach der Belichtung konnte man sowohl bei den Kulturen, die 20 *cm* von der Lichtquelle entfernt waren und 10 bis 300 Sekunden lang belichtet wurden, als auch bei denen, welche 10 *cm* von dem Lichte entfernt waren und 30 bis 80 Sekunden belichtet wurden, und selbstverständlich auch bei den unbelichteten Kulturen eine wesentliche Entwicklung beobachten. Die *Azotobacter*-Kulturen wurden demzufolge durch die Einwirkung der durch die Glimmerplatte dringenden Strahlen sogar nach 300 Sekunden nicht getötet. Von dieser Tatsache überzeugten wir uns außerdem noch dadurch, daß wir alle Kulturen aus den feuchten Kammern auf einen neuen Mannitagarnährboden überimpften. Alle diese überimpften Kulturen entwickelten sich glänzend.

Es ist gewiß von großem Interesse, daß die aus der Quecksilberquarzlampe strömenden und durch die Glimmerplatte dringenden Strahlen sogar nach 300 Sekunden die *Azotobacter*-Kulturen nicht zu töten vermögen.

b) Die Wirkung der direkt einwirkenden ultravioletten Strahlen.

Die *Azotobacter*-Kulturen wurden auch bei diesen Versuchen auf Mannitagar in feuchten Kammern überimpft, nur mit dem Unterschiede, daß die feuchten Kammern nicht mit Glimmerplatten zugedeckt wurden, sondern offen blieben und der Nährboden nur mittels der Petrischale gegen Infektion geschützt war. Vor der Exposition mit direkt einwirkenden ultravioletten Strahlen wurde die Petrischale entfernt, gleich darnach aber damit wieder zugedeckt. Die Sterilisation wurde wie beim Versuch *a)* bei 120° C. zweimal vorgenommen. Die Entfernung von der Lichtquelle betrug 10 *cm*. Zwei Kulturen wurden immer eine gleiche Zeit exponiert, und zwar 1, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 50 und 60 Sekunden lang und zwei blieben behufs Kontrolle unbelichtet. Gleich nach der Belichtung wurden alle Kulturen in einen Thermostat bei einer Temperatur

von 28° C. gestellt. Schon den zweiten Tag nach der Exposition war ein verschiedenartiger Zustand bei den einzelnen Kulturen wahrzunehmen. Die 1 bis 8 Sekunden lang belichteten Kulturen wiesen ein ganz merkliches Wachstum auf. Die schnellste und üppigste Entwicklung war bei jenen Kulturen zu konstatieren, die bloß 1 Sekunde, also am kürzesten belichtet wurden. Je länger die Belichtung dauerte, desto langsamer ging das Wachstum vor sich (siehe Taf. 4). Dieser Unterschied in der Entwicklung der einzelnen Kulturen trat nach dem vierten Tage noch deutlicher hervor, woselbst die 1 Sekunde lang belichtete Kultur sich fast auf der Hälfte der ganzen Fläche des Agars ausbreitete. Die länger exponierten Kulturen waren schon viel kleiner und jene, welche man 10 Sekunden lang belichtete, wuchsen überhaupt nicht mehr. Auch bei der Überimpfung auf ein neues Agar zeigte sich, daß diese als auch die weiteren Kulturen, die über 10 Sekunden lang exponiert wurden, vollständig abgetötet waren. Daraus läßt sich schließen, daß *Azotobacter chroococcum* durch das direkte Belichten mit ultravioletten Strahlen in einer Entfernung von 10 *cm* in der Dauer von 8 bis 10 Sekunden abstirbt.

Aus diesen Versuchen erhellt, daß wahrscheinlich nur diejenigen ultravioletten Strahlen, welche die kürzeste Wellenlänge aufweisen, einen tötenden Einfluß auf *Azotobacter* ausüben, denn, wie bereits erwähnt, werden bei der Einwirkung der ultravioletten Strahlen nur die über $\lambda = 240\ \mu\mu$ durch die Glimmerplatte durchgelassen, wodurch die Bakterien nicht einmal in 300 Sekunden getötet werden. Sind aber die *Azotobacter*-Kulturen nicht mit einer Glimmerplatte bedeckt, so erfolgt die Tötung der Bakterien schon in 8 bis 10 Sekunden. In diesem Falle kommt die Wirkung sämtlicher ultravioletter Strahlen, also auch die der kürzeren als $\lambda = 240\ \mu\mu$, zur vollen Geltung.

Resumé:

I. Die jungen Blätter der etiolierten Keimlinge von Erbsen (*Pisum sativum*), Mais (*Zea mais*), Hafer (*Avena sativa*) und Gerste (*Hordeum distichum*) haben unter der Einwirkung der ultravioletten Strahlen schon nach

zwei Stunden eine deutliche sattgrüne Färbung angenommen, wogegen die dem intensiven Sonnenlicht ausgesetzten noch immer etioliert, also gelb waren. Erst nach sechs Stunden waren die jungen Blätter der Keimlinge, welche dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt waren, genau so sattgrün gefärbt wie die mit ultravioletten Strahlen belichteten.

II. Durch das lange Etiolieren in der Dunkelkammer wurde die Lebensenergie des Protoplasmas so stark beeinträchtigt, daß die ultravioletten Strahlen nicht imstande waren, die Bildung des Chlorophylls sofort zu bewirken.

III. Die Versuche mit etiolierten Blättern von der Zuckerrübe (*Beta vulgaris*) unter der Einwirkung der ultravioletten Strahlen ergaben, daß man schon nach einer Stunde bemerken kann, daß die unter der Quecksilberquarzlampe stehenden Blätter zusehends ergrünten. Nach zwei Stunden war ihre Farbe bereits sattgrün, während die dem diffusen Tageslicht ausgesetzten Blätter kaum ihre gelbe Farbe geändert hatten. Bei den belichteten und unbelichteten Blättern wurde weiter folgendes beobachtet:

1. Die Blätter der etiolierten Pflanzen waren ausgesprochen gelb, die Lamina am Rande stark nach einwärts gebogen und zeigten auf der Unterseite sehr stark hervortretende primäre Nerven. Die sekundären Nerven waren kaum sichtbar.

2. Die Blätter derjenigen Pflanzen, welche dem diffusen Tageslicht ausgesetzt wurden, waren grünlichgelb gefärbt, die Lamina fast vollkommen aufgerollt und auf der Unterseite zeigten sich deutlich hervortretende sekundäre Nerven.

3. Die von der Quecksilberquarzlampe belichteten Blätter waren intensiv smaragdgrün, die Lamina ganz ausgebreitet und am Rande stark gekraust. Die Unterseite zeigte sämtliche Nerven vollkommen ausgebildet und selbst die feinsten derselben traten mit großer Schärfe hervor. Die Blätter waren ungemein

steif und ziemlich leicht brüchig. Als auffallend muß weiter bezeichnet werden, daß die künstlich belichteten Blätter, welche abgeschnitten und im Wasser aufbewahrt wurden, selbst noch nach einer Woche ihr frisches Aussehen erhalten hatten, wogegen die etiolierten und die dem diffusen Tageslicht ausgesetzten bei dem gleichen Versuche schon nach drei Tagen ziemlich welk waren.

IV. Als wir die ultravioletten Strahlen auf die Keimlinge von *Pisum sativum*, *Zea mais*, *Hordeum distichum* und *Beta vulgaris* direkt einwirken ließen, konnten wir nach zweistündiger Expositionsdauer ein frisches grünes Aussehen der Blätter bemerken. In den Zellen fand keine Chlorophyllzersetzung statt.

V. Die Belichtungsversuche ohne Glaskugel, wo also die ultravioletten Strahlen direkt mit voller Intensität auf die Pflanzen einwirkten, ergaben folgendes:

Bei einer Entfernung der Keimlinge von der Lichtquelle von 30 bis 35 *cm* wurde durch die direkte Einwirkung der ultravioletten Strahlen bei der Ergrünung der etiolierten Blätter derselbe Effekt erzielt, wie durch die Einwirkung der Lichtstrahlen von der Lampe, die mit einer Glaskugel versehen war. Es läßt sich annehmen, daß Strahlen von einer kürzeren Wellenlänge als $\lambda = 300\ \mu\mu$ auf die Bildung des Chlorophylls in den etiolierten Blättern keinen Einfluß haben.

VI. Die alkoholische Lösung von Rohchlorophyll wird durch die Einwirkung der ultravioletten Strahlen bei einer Expositionsdauer von 5 bis 60 Minuten nicht zersetzt. Das Absorptionsspektrum war vor und nach der Exposition stets das gleiche. Nach unseren Beobachtungen sind bei der Chlorophyllsynthese die stärker brechbaren Strahlen, welche eine Wellenlänge von $\lambda = 575$ bis $300\ \mu\mu$ aufweisen, am wirksamsten.

VII. Diejenigen Strahlen, die durch die Glimmerplatte dringen, sind sogar nach 300 Sekunden nicht imstande, die *Azotobacter*-Kulturen zu töten.

VIII. Durch das direkte Belichten mit ultravioletten Strahlen in einer Entfernung von 10 *cm* in der Dauer von 8 bis 10 Sekunden werden die *Azotobacter*-Kulturen vollständig abgetötet.

Bei diesem Abtötungsprozeß kommt die Wirkung aller ultravioletten Strahlen, also auch die der kürzeren als $\lambda = 300\ \mu\mu$, zur vollen Geltung.
